2000—2020年河西走廊国土空间格局演变特征及驱动力分析

薄立明[1]， 尹 力[2]， 魏 伟[1,2,3]， 赵 浪[2]， 夏俊楠[4]

（1. 武汉大学中国发展战略与规划研究院，湖北 武汉 430072；2. 武汉大学城市设计学院，湖北 武汉 430072；
3. 湖北省人居环境工程技术研究中心，湖北 武汉 430072；4. 武汉大学资源与环境科学学院，
湖北 武汉 430072）

摘　要：河西走廊是我国人类活动最密集的干旱地区，明晰河西走廊国土空间格局演变特征及驱动机制有助于缓解地区国土空间开发保护矛盾。采用空间转换矩阵、景观格局指数、最优参数地理探测器等方法，从“量变”“形变”2个维度定量研究2000—2020年河西走廊国土空间格局时空演变特征及其驱动力。结果表明：（1）河西走廊城镇空间、农业空间以及其他生态空间持续扩张，绿色生态空间剧烈减少了2758.87 km²，国土空间开发程度不断提高的同时生态保护效果尚不显著。（2）国土空间主导转换类型是生态空间内部“荒漠-绿地”交互演变，不同主体功能区中交叉转换规模差异显著。伴随国土空间交叉转换，其景观格局呈现出破碎化、分散化、复杂化演变特征。（3）河西走廊国土空间格局演变受到多维度影响因子驱动，其中“量变”过程受到的驱动作用包括国家政策指引、自然地理支撑、交通区位约束和社会经济催化，而“形变”则是以自然地理为基础，在交通区位和社会经济的影响下进一步发生演化。

关 键 词：主体功能区；三区空间；土地荒漠化；耕地扩张；河西走廊

文章编号：1000－6060(2024)05－0885－13(0885～0897)

河西走廊作为天然形成的地理大通道，自古以来就是我国向西开发的前沿阵地[1]。伴随陆上丝绸之路建设、西部大开发等战略开展，河西走廊再次被赋予“国家经济廊道”“寒旱农业、戈壁生态农业示范区”“国家生态安全屏障”等重要功能定位，在国家战略全局中地位愈加突出。然而，河西走廊地处西北干旱/半干旱地区，水资源短缺、沙漠化严重、气候敏感性高，其人口密度达到联合国拟定干旱地区人口承载力极限（7人·km^{-2}）的2倍，是我国人类活动最密集的干旱地区。宏大的国家发展目标、剧烈的人类活动以及脆弱的生态环境导致河西走廊成为我国国土空间开发保护矛盾最突出的地区之一——以绿洲为主的国土空间开发模式限制城镇空间发展，难以承载丝绸之路沿线干旱地区不断增加的建设用地需求[2]；绿洲内城镇扩张侵占农业空间，导致耕地流失、破碎化现象严重[3]；水土资源矛盾引起沙漠、荒漠扩张，进一步压缩绿色生态空间[4]。习近平总书记强调，主体功能区是国土空间开发保护的基础制度，也是从源头上保护生态环境的根本举措，现已成为新时期国土空间规划背景下协调地区国土空间开发保护矛盾的顶层战略。因此，衔接主体功能区战略，统筹协调城镇、农业和生态空间的多重发展诉求和空间布局冲突，为河西走廊城镇空间高效利用、特色农业有序发展、生态系统服务功能稳定恢复提供空间支撑平台，是落实河西走廊重大国家战略定位的重要着力点。

我国国土空间规划体系从“主体功能区”宏观引导、“三区三线”中观传导、“土地利用”微观落实3

收稿日期：2023-09-05；　**修订日期：**2023-11-16
基金项目：湖北省自然科学基金项目(2023AFB794)；教育部人文社会科学研究规划基金项目(23YJA630003)资助
作者简介：薄立明(1982-)，男，副研究员，主要从事国土空间规划研究. E-mail: boliming@whu.edu.cn
通讯作者：魏伟(1976-)，男，教授，博士生导师，主要从事国土空间规划研究. E-mail: weiwei@whu.edu.cn

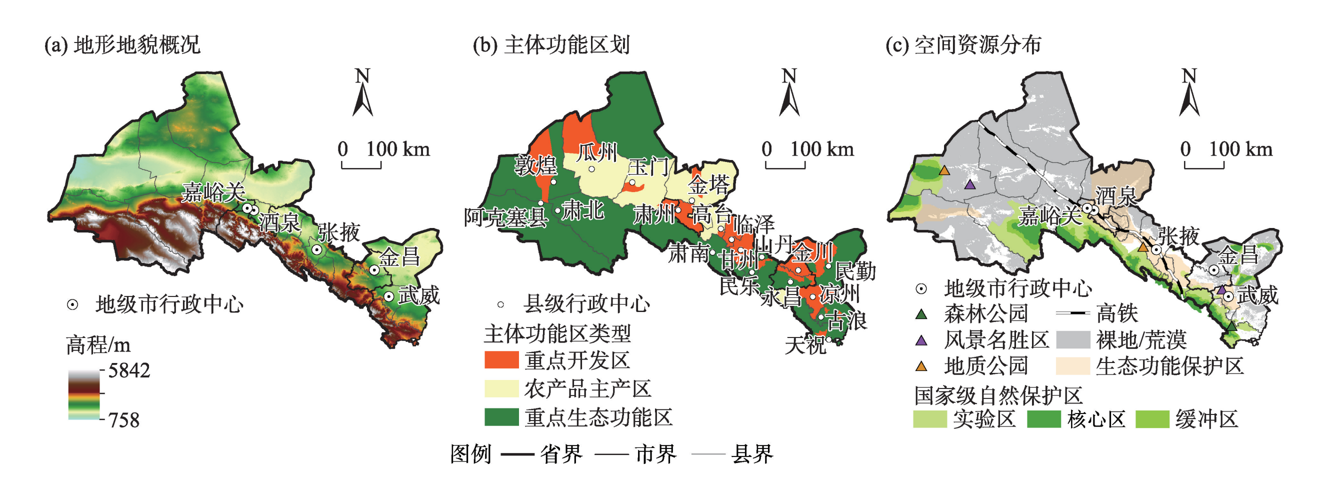
个空间尺度开展多层级国土空间用途管制[5]，划定“三区三线”是新时期国土空间规划中实现国土空间布局优化和实施统一国土空间用途管制的重要抓手，在多层级的国土空间规划体系中起到“上下传导”的关键作用[6]。“三区空间”直接对应“三区三线”，是以城镇、农业、生态主导功能划分的国土空间分类方式，既是对宏观主体功能区的细化延伸，也是对微观土地利用的功能整合[7]。现有研究多仍以“土地利用”[8]、“三生(生产、生活、生态)空间”[9]等分类方式开展国土空间演化判读。相较而言，“三区空间”[10-12]侧重于国土空间的主体功能用途管制，承接城市化、农业和生态三大战略格局，不仅更适用于大中尺度国土空间演化研究，还可揭示国土空间保护开发过程中软性顶层战略和实体空间承载的上下传导关系。关于河西走廊地区国土空间研究成果颇丰，可概括为3个方面：(1) 从城镇空间开发视角，刻画城镇空间时空演化特征[13-14]，分析城镇扩张对区域农业生产[15]、生态环境[16-18]造成的影响；(2) 从农业空间开发视角，评价农业空间的利用情况[19]以及粮食生产能力[20]，探索绿洲农业向戈壁农业的发展路径[21]，并测算农业生产所带来的生态环境影响[22-24]；(3) 从生态空间保护视角，关注空间内部绿色生态空间与荒漠化空间的相互作用，估算河西走廊林地[25-26]、草地[27]等绿色植被的生态系统服务能力[28-29]，分析荒漠化时空动态及其内在影响因素[30-33]。

综合来看，上述研究多选取国土空间中某一特定要素展开分析，缺乏整体性、整合性的国土空间演化判读，对国土空间的开发与保护关系的认知较为割裂，忽视国土空间保护开发引导战略和空间载体之间的上下传导关系，研究成果与国土空间治理体系稍有脱钩。而以“主体功能区”为标尺，科学认知河西走廊国土空间演化特征及驱动力，可以衔接国土空间治理体系科学支撑河西走廊国家战略大通道开发与脆弱的生态环境保护双重需求协调发展。基于此，本文将河西走廊国土空间划分为城镇、农业、生态3类，量化分析河西走廊国土空间格局自西部大开发以来(2000—2020年)在规模、形态2个维度上的时空演化特征及驱动力，弥补河西走廊大尺度、长时间序列、全要素国土空间演化研究的缺失，并结合主体功能区进行“升维检验”，以期更好地为主体功能区战略“降维传导”提供理论参考及数据支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

本文以河西走廊酒泉市、嘉峪关市、张掖市、金昌市和武威市5市18个区、县(自治县)、县级市行政单元所辖陆域为研究主体，总面积约24.78×10⁴ km²。依据《甘肃省主体功能区规划》《全国生态功能区规划》(图1)，河西走廊城市化地区、农产品主产区和生态功能区面积比例为1:1:3，呈现以下特征：(1) 城市化地区由金武(金昌-武威)、张掖(甘州-临泽)、酒嘉(酒泉-嘉峪关)地区3个省级重点开发区以及沿主要交通干线点状开发的城镇构成，占



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS2020(4619)号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 河西走廊自然地理条件与城镇现状

Fig. 1 Natural geographical conditions and urban status of the Hexi Corridor

国土总面积的19.27%;(2)农产品主产区由张掖市北部、酒泉市、玉门市、瓜州县等连片密集分布的国家重要商品粮生产基地、寒旱特色农业发展区组成,占国土空间总面积的19.93%;(3)重点生态功能区是最重要的主体功能区类型,占国土总面积的60.80%,主要包括全国重要生态功能区中的祁连山水源涵养功能区和北山山地、河西走廊西部、黑河中下游三大防风固沙功能区。

1.2 数据来源和处理

用以提取“三区空间”的2000、2010、2020年3期土地利用数据来源于自然资源部发布的全球30 m地表覆盖数据产品(GlobeLand30),通过在ArcGIS 10.6中对土地数据进行拼接、裁切和重分类生成各时间序列“三区空间”。各级行政边界、政府驻地、河流、道路、数字高程模型(DEM)、人口密度和生态功能保护区等数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn/)和地理国情监测云平台(http://www.dsac.cn/)。气温、降水与日照等数据来源于国家气象科学数据中心(http://data.cma.cn/)。上述空间数据均通过投影转换统一到相同的地理坐标系和投影坐标系(Krasovsky_1940_Albers)。社会经济和政策类数据来源于各年度《中国县域统计年鉴(县市卷)》、甘肃省及各市统计年鉴和主体功能区规划方案。

1.3 河西走廊国土空间分类体系

按照土地所承担的主导功能将GlobeLand30土地类型与粮食安全、城镇发展、生态安全国土空间发展需求相对应,划分河西走廊“三区空间”(表1)。需要说明的是,由于河西走廊沙漠化现象严重,荒漠不断侵蚀绿洲,生态空间内部变化剧烈,且生态服务能力差异较大,因此将生态空间细化为绿色生态空间和其他生态空间。

1.4 研究方法

1.4.1 演化规模特征 使用“三区空间”转移矩阵刻画各类空间的“交叉转换规模”,核心使用的转移矩阵计算公式为:

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:S_{ij}为转换空间的面积(km^2);i、j分别为研究初期、末期的“三区空间”类型;n为空间类型数。

1.4.2 景观格局特征 借鉴已有研究[6,34],采用斑块数量、最大斑块指数、面积周长分维数、蔓延度、景观分离度、分散指数、香农多样性指数、香农均匀性指数和聚集度共9个指标量化分析“三区空间”的景观格局变化。

1.4.3 驱动力分析 (1)驱动因子选取。结合河西走廊地区实际并借鉴已有相关研究[13-14,16],本文从国家政策、自然地理、交通区位和社会经济4个方面,选取21个指标:国家政策包括主体功能区规划(X_1)和生态功能区规划(X_2)2个指标;自然地理包括平均海拔(X_3)、平均坡度(X_4)、地形起伏度(X_5)、平均降水量(X_6)、平均气温(X_7)5个指标;交通区位包括距铁路距离(X_8)、距主要公路距离(X_9)、距主要河流距离(X_{10})、距市中心距离(X_{11})和距市省会距

表1 河西走廊“三区空间”分类与土地利用类型的衔接

Tab. 1 Connection between classification of three-zone space and land use types in the Hexi Corridor

国土“三区空间”分类		GlobeLand30土地利用分类体系		分类依据
一级空间	二级空间	一级地类	二级地类	
城镇空间	–	人造地表	城镇居民用地、工矿及交通设施用地、乡村建设用地	承载城镇发展
农业空间	–	耕地	水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草地、大棚用地、以种植农作物为主间有果树及其他经济乔木的土地	保障粮食安全
生态空间	其他生态空间	裸地	荒漠、沙地、砾石地、裸岩、盐碱地	需要生态恢复
	绿色生态空间	森林	乔木覆盖且树冠盖度超30%的土地、盖度10%~30%的疏林地	提供水土保持、水源涵养、调节气候、保持生物多样性等生态服务
		草地	草原、草甸、稀树草原、荒漠草原、人工草地	
		灌木地	山地灌丛、落叶和常绿灌丛,以及荒漠灌丛	
		湿地	沼泽、河流泛洪湿地、森林/灌木湿地、盐沼	
		水体	江河、湖泊、水库、坑塘	
		冰川积雪	高山地区永久积雪、冰川	

注:资料由GlobeLand30产品说明书(http://www.globallandcover.com/)整理获得。

离（X_{12}）5个指标；社会经济指标包括总人口（X_{13}）、城镇化率（X_{14}）、地区生产总值（X_{15}）、第一产业增加值（X_{16}）、第二产业增加值（X_{17}）、第三产业增加值（X_{18}）、平均人口密度（X_{19}）、农业机械总动力（X_{20}）和财政支出（X_{21}）共9个指标。

（2）模型探测与验证。采用最优参数地理探测器（Optimal parameters-based geographical detector, OPGD）的因子探测模块[35]，识别“三区空间”转换规模（量变）和景观格局变化（形变）的影响因素。计算公式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{2}$$

式中：q 值表示因子解释了 $100 \times q\%$ 的空间规模/形态变化，值域为[0, 1]，q 值越大表示因子的解释能力越强；$h = 1, 2, \cdots, L$，为所选定驱动因子的数目；N_h 和 N 分别为第 h 类型的县域单元数和河西走廊县域单元总数；σ_h^2 和 σ^2 分别为 h 类型单元和全区所有单元该变量值的方差。

2 结果与分析

2.1 河西走廊“三区空间”演化特征

2.1.1 整体时空结构变化 2000—2020年河西走廊城镇空间、农业空间持续扩张，绿色生态空间剧烈减少，其他生态空间先增后减（图2、图3、表2）。分析可知：河西走廊城镇空间规模较小，虽近20 a城镇空间扩张1391.51 km^2，增幅达189.09%，但截至2020年为2127.43 km^2，仅占地区国土空间总面积的0.86%，且其中60%分布在重点开发区；各类主体功能区内城镇空间均在扩张，重点开发区最为显著，占扩张总规模的61.97%，而农产品主产区、重点生态功能区内仅占11.84%、26.19%。农业空间规模近20 a扩张600.31 km^2，扩张大规模发生在农产品主产区内，占总规模的92.06%，而重点开发区内增加125.78 km^2，重点生态功能区内减少78.13 km^2。绿色生态空间剧烈减少2758.87 km^2，在重点开发区内减少139.73 km^2，重点生态功能区内减少了3018.79 km^2，仅农产品主产区增加399.65 km^2。其他生态空间是河西走廊最主要的国土空间类型，2020年占国土总面积的71.98%，并在20 a间增加767.06 km^2；其中，重点开发区和农产品主产区内分别减少848.97 km^2、1116.99 km^2，生态功能区内增加2733.02 km^2。整体来看，河西走廊国土空间开发程度不断提升，在国土空间开发层面较符合主体功能区战略要求，但绿色生态空间严重缩减，其他生态空间有所扩张，仍未达到主体功能区战略生态保护的发展目标。

2.1.2 “三区空间”交叉转换规模 近20 a，河西走廊“三区空间”交叉转换剧烈，生态空间内部互演是主导类型，不同主体功能区中交叉转换规模差异显著（图4、表3）。向城镇空间转换的主要是农业空间，其他生态空间次之，而绿色生态空间转换规模最小；区域分布上以重点开发区为主，规模占比均在50%以上，值得注意的是，农产品主产区内绿色生态空间向城镇空间转换的规模极小，仅有12.24 km^2。向农业空间转换的主要是绿色生态空间和其他生态空间，仅有199.48 km^{2}城镇空间转换为农业空间；进一步分析发现，绿色生态空间向农业空间转换在重点开发区、重点生态功能区内规模达农产品主产区的2倍以上，而其他生态空间转为农业空间在农产品主产区内规模也是重点开发区、重点生态功能

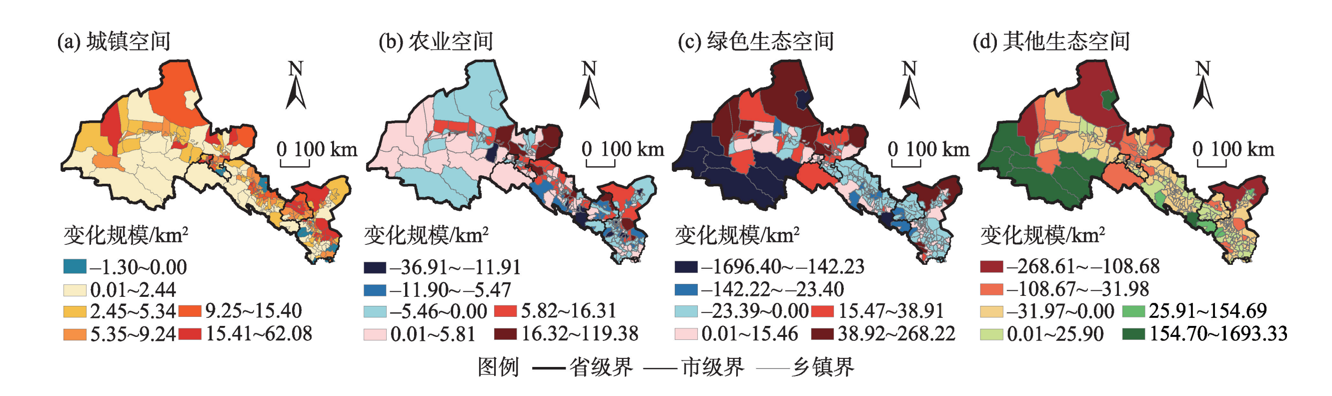


图2 2000—2020年河西走廊“三区空间”演化

Fig. 2 Evolution of three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

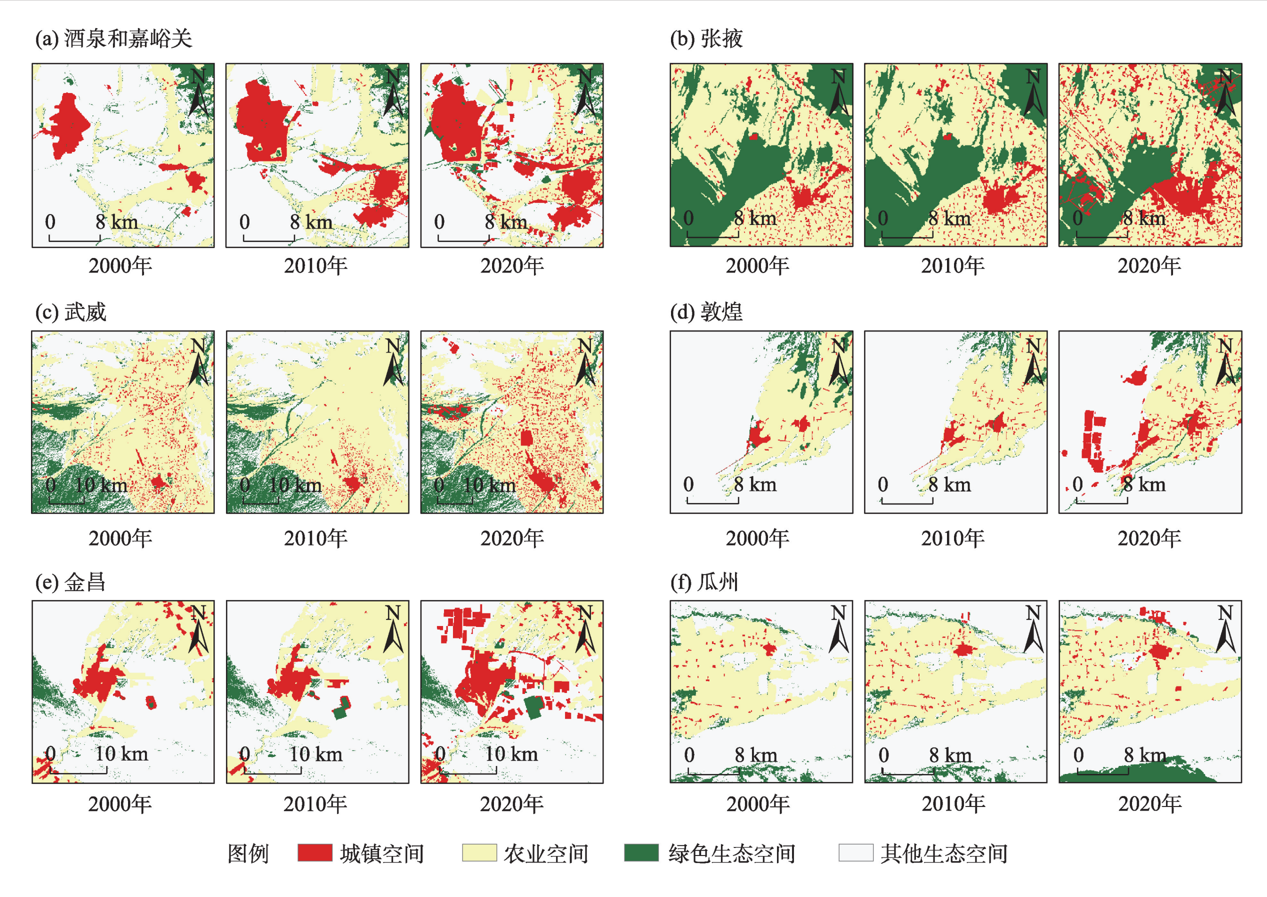


图3　2000—2020年河西走廊"三区空间"演化典型地区

Fig. 3　Typical regions in the evolution of the three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

表2　河西走廊各主体功能区"三区空间"数据

Tab. 2　Three-zone space data in each major function oriented zone of the Hexi Corridor

主体功能区	三区空间类型	2000年		2010年		2020年		2000—2020年变化量/km²	2000—2020年变化幅度/%
		面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%		
重点开发区	城镇空间	448.70	60.97	452.24	62.55	1310.96	61.62	+862.26	+192.17
	农业空间	6284.01	38.30	6465.66	38.38	6409.79	37.68	+125.78	+2.00
	绿色生态空间	5599.97	10.59	5486.61	10.95	5460.24	10.89	−139.73	−2.50
	其他生态空间	35367.66	19.96	35295.17	19.66	34518.70	19.40	−848.97	−2.40
农产品主产区	城镇空间	95.27	12.95	100.76	13.94	260.06	12.22	+164.79	+172.96
	农业空间	2780.11	16.94	3043.13	18.06	3332.76	19.59	+552.65	+19.88
	绿色生态空间	4384.78	8.29	4075.77	8.13	4784.43	9.54	+399.65	+9.11
	其他生态空间	42094.87	23.76	42135.47	23.47	40977.88	23.03	−1116.99	−2.65
重点生态功能区	城镇空间	191.94	26.08	169.99	23.51	556.41	26.15	+364.47	+189.89
	农业空间	7344.63	44.76	7338.20	43.56	7266.50	42.72	−78.13	−1.06
	绿色生态空间	42905.93	81.12	40565.22	80.92	39887.14	79.56	−3018.79	−7.04
	其他生态空间	99701.54	56.28	102071.13	56.86	102434.56	57.57	+2733.02	+2.74

区的2倍，不同的来源表明农产品主产区的发展对荒漠化治理可能存在协同效应。向绿色生态空间转换的主要是其他生态空间，由城镇空间、农业空间转入的规模分别仅有14.37 km²、648.17 km²，在重点生态功能区内农业空间、其他生态空间向绿色生态空间的转换更加剧烈，规模占比超过60%。同时，重点生态空间区内绿色生态空间大规模向其他生态空间转换，规模达到7305.88 km²，占全域转换

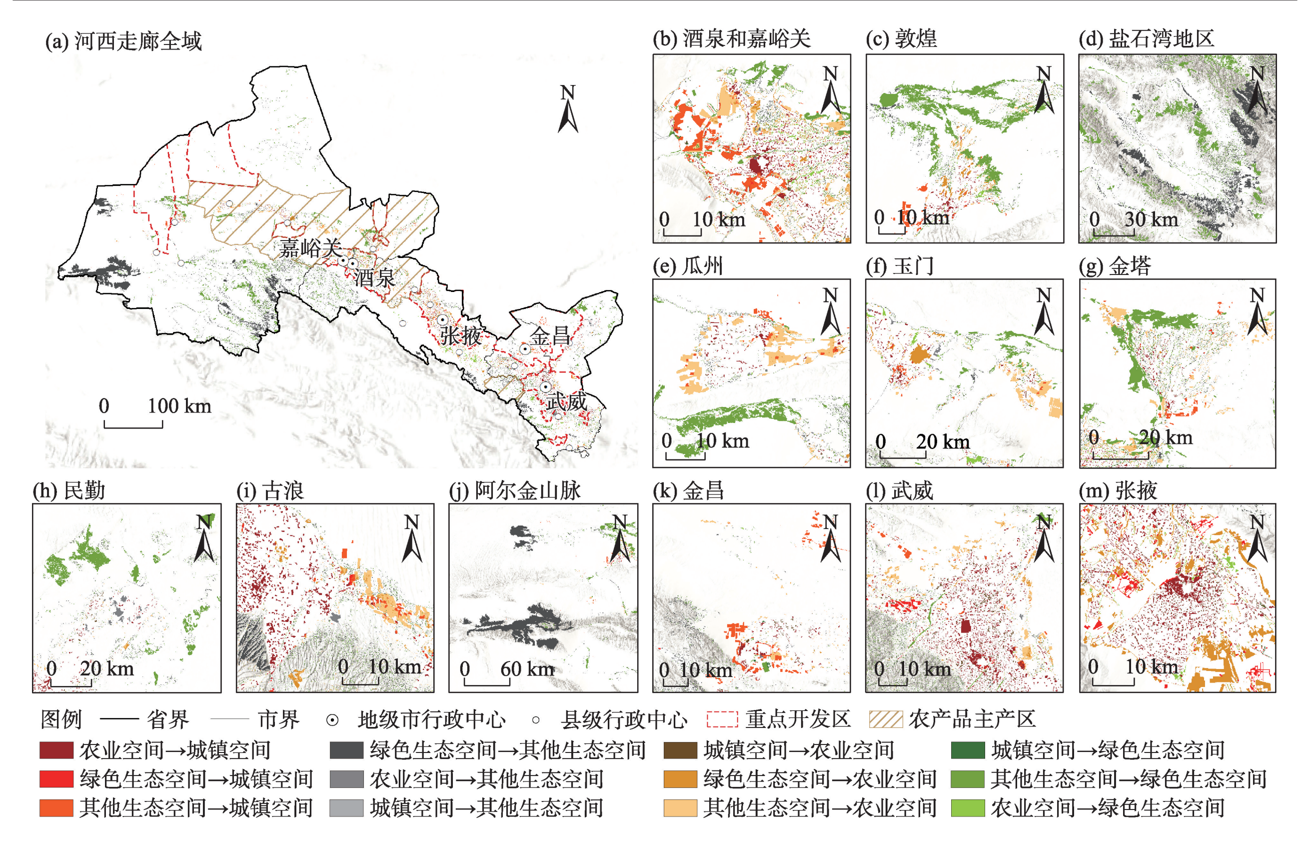


图4 2000—2020年河西走廊"三区空间"交叉转换空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of cross-transformation of three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

表3 2000—2020年河西走廊"三区空间"交叉转换数据

Tab. 3 Cross-conversion data of three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

三区空间转换		重点开发区		农产品主产区		重点生态功能区		面积合计/km²
主导方向	转换类型	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	
转为城镇空间	农业→城镇	571.56	61.01	95.33	10.18	269.99	28.82	936.88
	绿色生态→城镇	102.75	54.27	12.24	6.47	74.34	39.27	189.33
	其他生态→城镇	338.73	68.20	81.50	16.41	76.46	15.39	496.69
转为农业空间	城镇→农业	129.09	64.71	20.93	10.49	49.47	24.80	199.48
	绿色生态→农业	468.19	42.61	207.63	18.90	422.99	38.50	1098.81
	其他生态→农业	285.07	26.16	598.32	54.91	206.18	18.92	1089.57
转为绿色生态空间	城镇→绿色生态	8.13	56.61	1.03	7.16	5.21	36.24	14.37
	农业→绿色生态	128.31	19.80	117.19	18.08	402.67	62.12	648.17
	其他生态→绿色生态	668.49	12.92	998.13	19.29	3506.44	67.78	5173.06
转为其他生态空间	城镇→其他生态	13.66	76.97	2.37	13.34	1.72	9.69	17.75
	农业→其他生态	56.75	28.01	61.71	30.46	84.13	41.53	202.59
	绿色生态→其他生态	372.92	5.10	496.85	6.80	6436.11	88.10	7305.88

总规模的88.10%。

2.1.3 "三区空间"景观格局变化 河西走廊国土空间景观格局整体变化剧烈，且处于景观破碎化、优势斑块退化、形态规整化以及分散化、复杂化的发展态势，国土空间景观格局演化与"三区空间"交叉转换存在强烈关联（图5、表4）。分析可知：河西走廊国土空间斑块数量大面积增加，最大斑块指数、面积周长分维数减少，香农多样性指数、香农均匀性指数整体性增加，景观分离度、分散指数、蔓延度和聚集度整体性减少，表明地区国土空间景观破碎化严重，斑块形态逐渐规整化，且逐渐复杂化、分散化，连通性降低。同时，交叉转换类型普遍与斑块

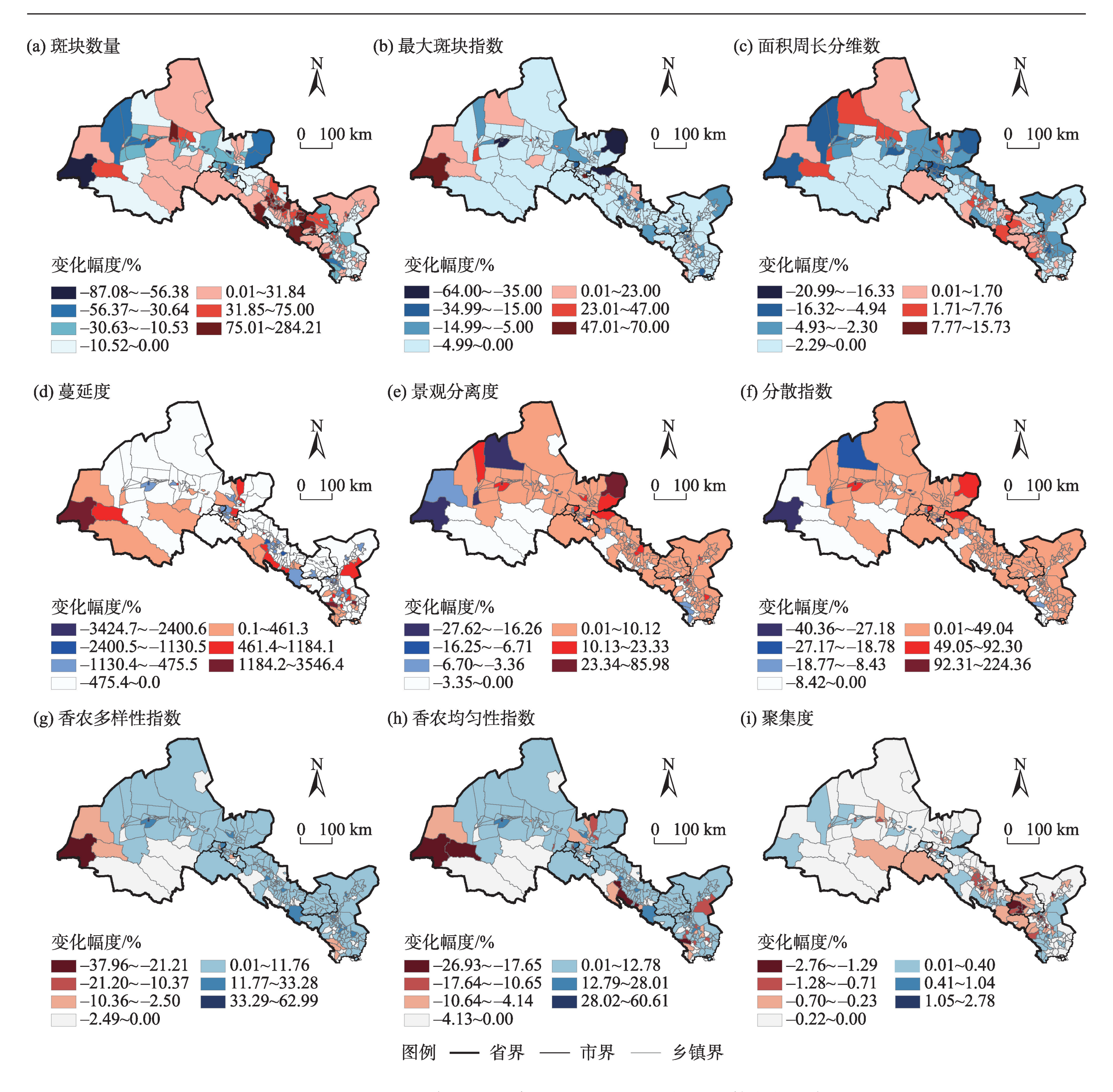


图5 2000—2020年河西走廊“三区空间”景观格局指数变化幅度

Fig. 5 Change rate of landscape pattern index of three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

数量呈现正相关，与最大斑块指数、面积周长分维数负相关。生态空间向城镇空间、农业空间的转入与蔓延度、分散指数、分离度、香农多样性指数、香农均匀性指数显著正相关，增加了国土空间的分散程度和复杂程度。

2.2 河西走廊“三区空间”演化驱动力分析

2.2.1 量变演化驱动分析 河西走廊“三区空间”量变演化的驱动路径可概括为国家政策指引、自然地理支撑、交通区位约束、社会经济催化(图6)。国家政策类因子整体表现为内生性、弹性的引导作用，其中主体功能区对国土空间农业、城镇开发方面表现出一定引导作用，但未能推动生态保护发展，而生态功能区仅对绿色生态空间向其他生态空间有显著影响作用。自然地理类因子对大部分交叉转换存在显著作用，但对城镇空间向生态空间的2类转换不显著；即河西走廊自然地理条件作为地区城镇建设、产业发展、生态保护的基础承载广泛驱动各类国土空间功能的变化，但其提供的城镇发展适宜空间有限，较少引起城镇空间荒弃转换为生态空间的现象。交通区位类因子在“城镇空间向农

表4 河西走廊“三区空间”转换规模–景观格局关联系数

Tab. 4 Correlation coefficient of three-zone space conversion scale-landscape pattern in the Hexi Corridor

转换类型	景观格局指数								
	斑块数量	最大斑块数量	面积周长分维数	蔓延度	景观分离度	分散指数	香农多样性指数	香农均匀性指数	聚集度
农业→城镇	0.149*	−0.216***	−0.097*	−0.401***	0.354***	0.382***	0.407***	0.385***	−0.362***
绿色生态→城镇	0.348**	−0.172***	−0.111*	−0.190***	0.200***	0.228***	0.203***	0.174***	−0.208***
其他生态→城镇	−0.245***	−0.056×	−0.316***	−0.086×	0.145**	0.138**	0.215***	0.148**	0.006×
城镇→农业	0.147**	−0.147**	0.126*	−0.237***	0.162***	0.167***	0.092×	0.213***	−0.258***
绿色生态→农业	0.324*	−0.185***	−0.109*	−0.066×	0.122**	0.160***	0.134**	0.029×	−0.121×
其他生态→农业	−0.299***	−0.105×	−0.337***	−0.032×	0.206***	0.227***	0.220***	0.079×	0.043×
城镇→绿色生态	0.142**	−0.106*	0.049×	−0.053×	0.017×	0.030×	0.028×	0.037×	−0.080×
农业→绿色生态	0.135**	−0.136**	−0.096*	0.007×	0.098*	0.130**	0.089×	−0.033×	−0.049×
其他生态→生态绿色	−0.240***	−0.105*	−0.218***	0.054×	0.088×	0.095*	0.117**	−0.025×	0.033×
城镇→其他生态	−0.130**	−0.089×	−0.130**	−0.009×	−0.073×	−0.044×	0.019×	0.048×	0.015×
农业→其他生态	−0.213***	−0.166***	−0.260***	−0.032×	0.172***	0.201***	0.189***	0.061×	−0.055×
绿色生态→其他生态	−0.091×	0.202×	−0.114**	0.119×	−0.147×	−0.126×	−0.171×	−0.171×	−0.029×

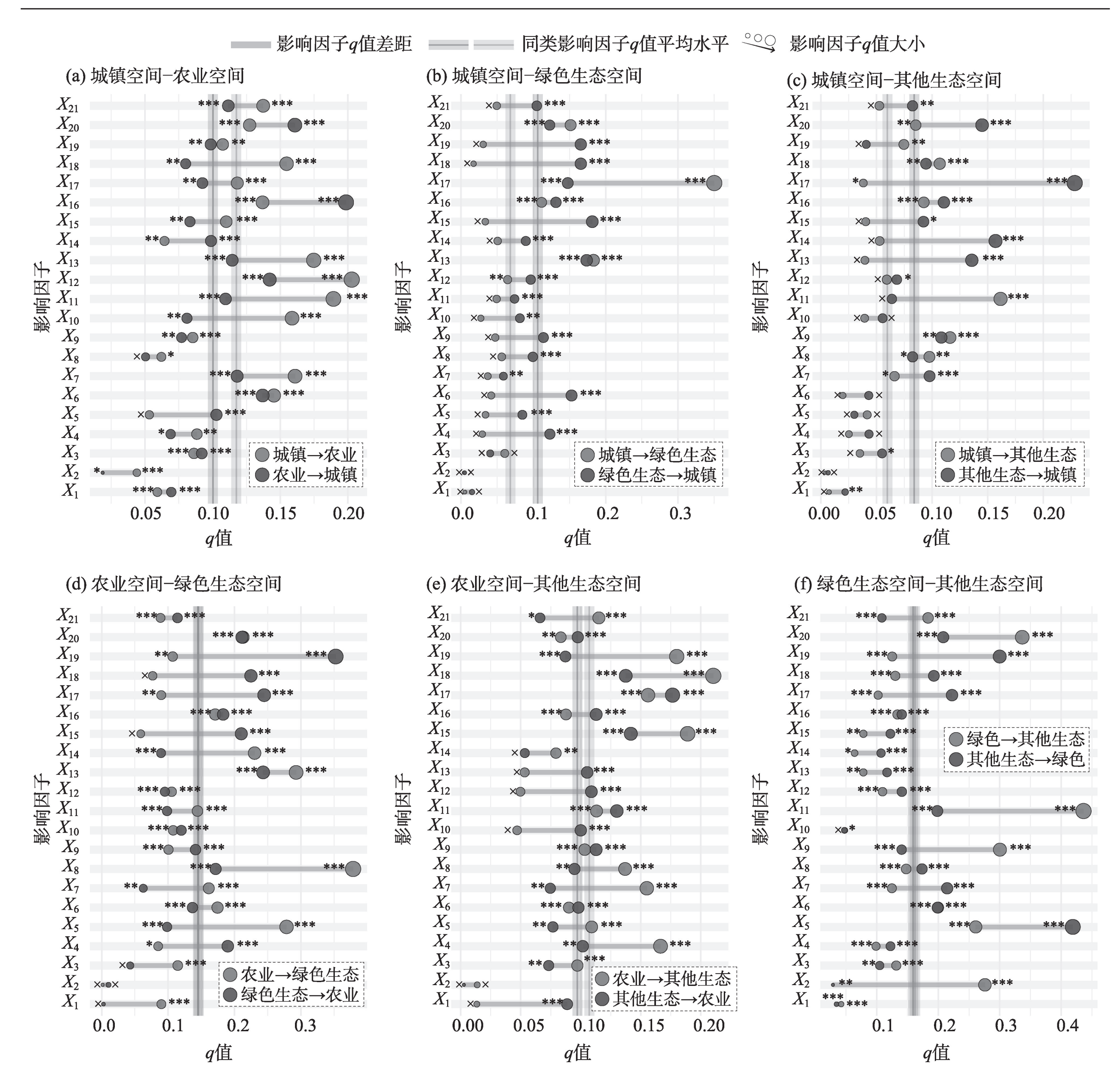
注:*、**、***分别表示在10%、5%、1%置信水平下显著;×表示无显著相关性。

业空间、其他生态空间”“农业空间向绿色生态空间”“绿色生态空间向其他生态空间”转换中贡献率均是最高,显著驱动国土空间由高强度向低强度利用或未利用地转变。社会经济类因子对所有交叉转换类型均有显著影响作用,尤其对向城镇空间的转换、生态空间向农业空间的转换等由低强度向高强度利用的转换作用强度极高;社会经济体现的是国土空间中的人类活动的投入及产出,进一步催化了国土空间功能转换,特别是对于河西走廊国土空间开发利用的促进作用极强。

2.2.2 形变演化驱动力分析 河西走廊“三区空间”形态演化表现为以自然地理条件为基础,交通区位和社会经济影响进一步驱动的作用路径(图7)。国家政策类因子整体上q值较低,对“三区空间”形变的驱动能力较弱。自然地理类因子对蔓延度、聚集度、香农多样性指数、斑块数量等指数变化具有显著影响作用;可以理解为河西走廊地处自然地理大通道、干旱/半干旱区,其所具有的海拔、地形起伏以及降水量等自然特征,带来的沙漠化地区扩张、河流冲击侵蚀等现象促使国土空间格局形态的自然演化;因此,自然环境是河西走廊“三区空间”形变的基础条件。交通区位类因子、社会经济类因子对于9个景观格局变化都具有显著的影响作用,且整体q值较高,对各个景观格局演化的解释力极高;说明人类的基础性建设以及城市化发展、产业发展对于河西走廊“三区空间”景观格局的影响极为突出,对于河西走廊自然状态下的国土空间格局形态变化造成了进一步的影响。

3 讨 论

河西走廊是我国“一带一路”倡议陆上丝绸之路建设、西部大开发等战略向西开发的重要地理大通道,也是我国人类活动最密集的干旱地区,其国土空间的开发和保护对于国家生态文明建设和社会经济发展具有重要战略作用。本文对河西走廊城镇空间演变的分析结论与孙钦珂等[3]、周亮等[17]的研究结果一致,城镇空间在绿洲中大规模扩张并侵占农业空间,并发现城市基础设施建设对于河西走廊国土空间格局形态演化具有较强影响,而河西走廊作为重要战略通道,需要优化主体功能区对于城市化地区的布局引导,并通过城镇开发边界等控制线强化对未来开发建设的约束。其次,研究表明河西走廊农业空间大量转换为城镇空间的同时农产品主产区内大量其他生态空间即荒漠转换为农业空间和绿色生态空间,这与陈克恭等[21]对于河西走廊戈壁农业探索方面的研究结论一致。此外,生态空间方面获得的结论与韩兰英等[30]、程小云等[32]、南生祥等[29]研究相一致,河西走廊生态空间受到干



注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%置信水平下显著；×表示无显著相关性。下同。

图6　2000—2020年河西走廊“三区空间”转换规模的影响因子贡献率

Fig. 6　Contribution rates of the influencing factors of the transformation scale of the three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

旱区特殊环境的影响，沙漠化、荒漠化现象严重，而生态环境保护策略在其中起到了缓解作用，本文也进一步发现除生态保护区、重点生态功能区等战略对沙漠化现象的治理以外，城镇发展以及农业发展一定程度上促进了人类对于荒漠化地区的治理，因此构建城镇、农业、生态协同发展、共同治理的国土空间保护开发体系对于河西走廊生态保护有着重要意义。本文主要的贡献是衔接国土空间规划体系，构建国土空间“三区空间”分类体系，并将顶层战略、地区实际置于同一分析框架，系统性、完整性地分析河西走廊国土空间格局规模、形态2个维度地演化特征及内在驱动机制，为新时期国土空间规划语境下的国土空间保护开发拓展了理论支撑和案例应用。

4　结　论

（1）从国土空间规模变化来看，近20 a河西走廊国土空间城镇空间、农业空间持续扩张，尤其城

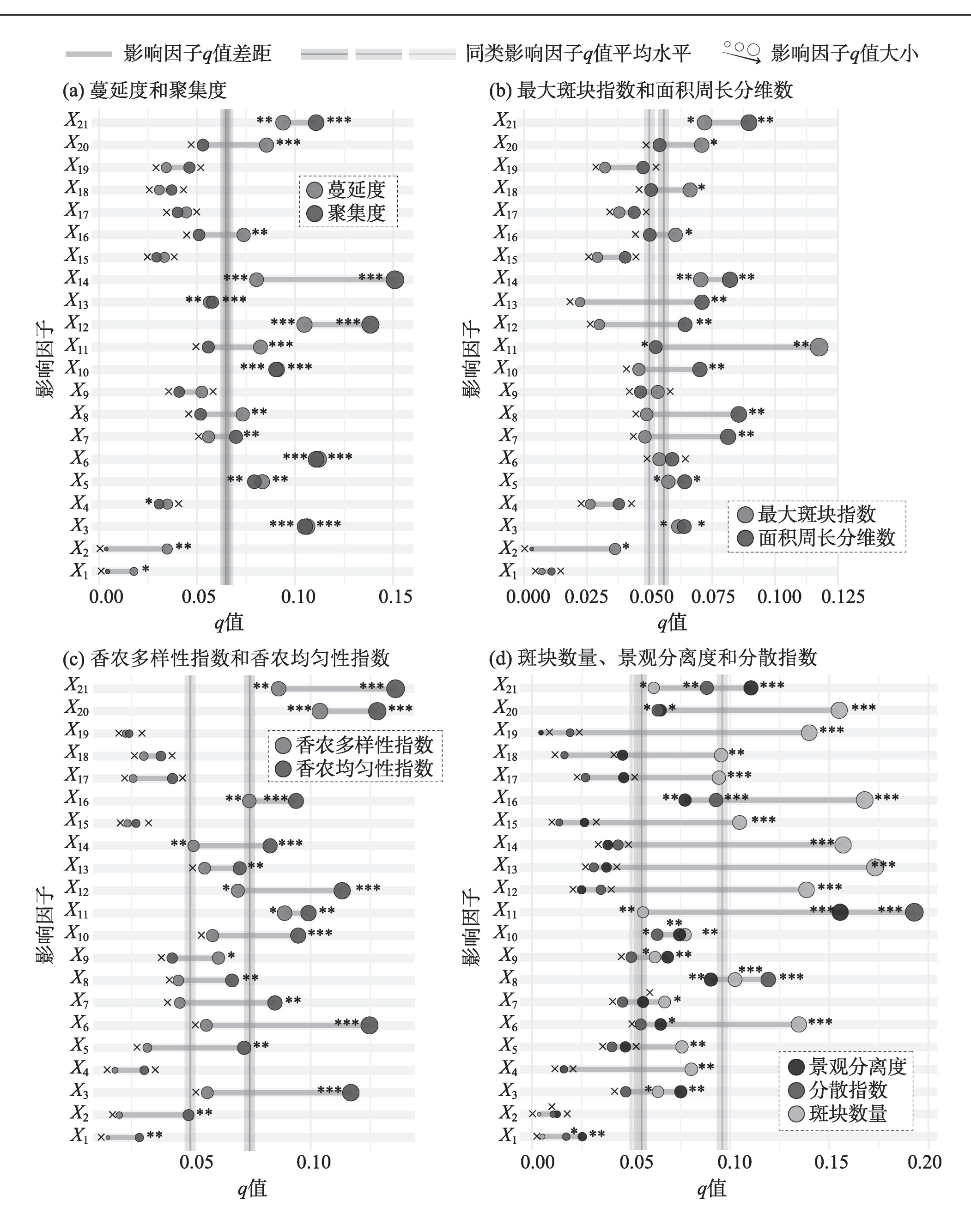


图7 2000—2020年河西走廊“三区空间”景观格局变化的影响因子贡献率

Fig. 7 Contribution rates of the influencing factors on landscape pattern of the three-zone space in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

镇空间增幅达189.09%,绿色生态空间剧烈缩减,规模达2758.87 km²。国土空间开发程度不断提升,但未达到主体功能区战略生态保护的发展目标。生态空间内部互演是河西走廊“三区空间”交叉转换的主要类型,由绿色转其他以及由其他转绿色的规模分别达到7305.88 km²、5173.06 km²,同时不同主体功能区中各类交叉转换规模差异显著。

(2) 河西走廊国土空间景观格局整体呈现景观破碎化、优势斑块退化、形态规整化以及空间分散化、复杂化演化特征。国土空间规模交叉转换与景观格局演变存在较强关联,尤其与景观格局的分散化和复杂化关系密切。

(3) 河西走廊特殊的自然地理条件以及社会经济发展导向影响下,其国土空间格局演变受到多种要素驱动且作用强度差异显著。其中,规模演变过程存在国家政策指引、自然地理支撑、交通区位约束、社会经济催化的驱动路径,而形态则以自然地理为基础,受交通区位和社会经济驱动进一步发生演化。

参考文献(References)

[1] 唐霞, 李森. 历史时期河西走廊绿洲演变研究的进展[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(7): 48-55. [Tang Xia, Li Sen. An analysis on the oasis evolution of Hexi Corridor in historical period[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(7): 48-55.]

[2] 邹易, 蒙吉军. 干旱区绿洲-城镇-荒漠景观演变及生态环境效应[J]. 干旱区研究, 2023, 40(6): 988-1001. [Zou Yi, Meng Jijun. Evaluation of an oasis-urban-desert landscape and the related eco-environmental effects in an arid area[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(6): 988-1001.]

[3] 孙钦珂, 周亮, 唐相龙, 等. 干旱区绿洲城镇扩张对耕地空间影响及预测——以河西走廊区域为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(4): 1008-1020. [Sun Qinke, Zhou Liang, Tang Xianglong, et al. Spatial influence and prediction of oasis urban expansion on cultivated land in arid areas: A case study of the Hexi Corridor[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(4): 1008-1020.]

[4] 朱秉启. 中纬度荒漠区河西走廊沙丘地貌的演化特征及其环境指示[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2710-2729. [Zhu Bingqi. The recent evolution of dune landforms and its environmental indications in the mid-latitude desert area (Hexi Corridor)[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(11): 2710-2729.]

[5] 魏伟, 夏俊楠, 洪梦谣, 等. 1980—2018年长江经济带主体功能空间演化研究[J]. 城市规划学刊, 2021(3): 28-35. [Wei Wei, Xia Junnan, Hong Mengyao, et al. The evolution of “three-zone space” in the Yangtze River Economic Belt under major functional zoning strategy from 1980 to 2018[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 28-35.]

[6] 魏伟, 尹力. 东北地区“三区空间”格局演化特征及驱动机制[J]. 地理科学, 2023, 43(2): 324-336. [Wei Wei, Yin Li. Evolution characteristics and driving mechanism of spatial pattern of “three-zone space” in northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(2): 324-336.]

[7] 张轲, 魏伟, 周婕, 等. 三江源地区“三区空间”时空演化及驱动机制分析(1992—2020年)[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(9): 1755-1770. [Zhang Ke, Wei Wei, Zhou Jie, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and mechanism of “three-function space” in the Three-Rivers Headwaters’ region from 1992 to 2020[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(9): 1755-1770.]

[8] 王全喜, 孙鹏举, 刘学录, 等. 甘肃省土地利用空间协调度时空分异及态势分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(1): 271-279. [Wang Quanxi, Sun Pengju, Liu Xuelu, et al. Spatial-temporal differentiation and situation of spatial coordination degree on land use in Gansu Province[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(1): 271-279.]

[9] 窦睿音, 张文洁, 陈晨. 陕西省“三生”空间格局演变与驱动机制研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 264-273. [Dou Ruiyin, Zhang Wenjie, Chen Chen. Land use change based on production-living-ecology spaces and its driving forces in Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(2): 264-273.]

[10] 魏伟, 尹力, 谢波, 等. 国土空间规划背景下黄河流域“三区空间”演化特征及机制[J]. 经济地理, 2022, 42(3): 44-55, 86. [Wei Wei, Yin Li, Xie Bo, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and mechanism of “three-function space” in the Yellow River Basin under the background of territorial spatial planning[J]. Economic Geography, 2022, 42(3): 44-55, 86.]

[11] 魏伟, 王宁, 尹力. 近10年长江经济带上游地区“三区空间”时空演化特征及机制分析[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(2): 297-310. [Wei Wei, Wang Ning, Yin Li. Spatial-temporal evolution characteristics and mechanism analysis of “three-zone space” in upper reaches of Yangtze River Economic Belt in recent 10 years[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(2): 297-310.]

[12] 尹力, 魏伟. 基于主体功能区战略的我国城市群城镇空间演化解析(2000—2020年)[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 88-95. [Yin Li, Wei Wei. Analysis of the spatial evolution of urban clusters in China based on the strategy of main functional zones (2000—2020)[J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 88-95.]

[13] 聂晓英, 石培基, 吕蕊, 等. 河西走廊绿洲型城镇空间相互作用时空演变[J]. 经济地理, 2016, 36(7): 76-83. [Nie Xiaoying, Shi Peiji, lü Rui, et al. The spatio-temporal evolvement of spatial interaction among oasis urban of Hexi Corridor[J]. Economic Geography, 2016, 36(7): 76-83.]

[14] 宁雷, 连华, 牛月, 等. 城镇发展的收缩状态识别、分类及因素探讨——以黄河流域甘肃段为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(3): 492-504. [Ning Lei, Lian Hua, Niu Yue, et al. Identification, classification and factors of contraction of urban development: A case of Gansu section of the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(3): 492-504.]

[15] 叶超, 祝佳佳. “一带一路”背景下城镇化与农业现代化的协调发展——以河西走廊地区为例[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2018, 39(1): 21-27, 191-192. [Ye Chao, Zhu Jiajia. The evolution of urbanization and agricultural modernization under the Belt and Road Initiative: The Hexi Corridor as a case[J]. Journal of Soochow University (Philosophy & Social Science Edition), 2018, 39(1): 21-27, 191-192.]

[16] 赵连春, 赵成章, 文军. 河西走廊城镇化与资源环境承载力的动态耦合及空间格局[J]. 生态学杂志, 2021, 40(1): 199-208. [Zhao Lianchun, Zhao Chengzhang, Wen Jun. Dynamic coupling and spatial pattern of urbanization and resource-environment carrying capacity in Hexi Corridor[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(1): 199-208.]

[17] 周亮, 朱彦儒, 孙东琪. 河西走廊城乡居民点空间分异特征及绿洲孕育度分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(1): 227-236. [Zhou Liang, Zhu Yanru, Sun Dongqi. Spatial differentiation characteristics and oasis breed degree of urban and rural residents in Hexi Corridor[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(1): 227-236.]

[18] 王毅, 魏江超, 孙启元, 等. 基于ARIMA-ANN模型的生态安全评价及预测——以河西走廊城市群为例[J]. 生态学杂志, 2020, 39(1): 326-336. [Wang Yi, Wei Jiangchao, Sun Qiyuan, et al. Ecological security evaluation and prediction based on ARIMA-ANN model: A case study of Hexi Corridor urban agglomeration[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(1): 326-336.]

[19] 汪延彬, 胡燕凌, 卜春燕, 等. 甘肃省耕地质量等别特征与空间分布研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(11): 138-144. [Wang Yanbin, Hu Yanling, Bu Chunyan, et al. Research on arable land grade characteristics and spatial distribution in Gansu Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(11): 138-144.]

[20] 马丁丑, 周小燕. 气候灾变对河西走廊农作物产量的影响研究[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(11): 1207-1211, 1272. [Ma Dingchou, Zhou Xiaoyan. Study on the impact of climate catastrophe on crop yield in Hexi Corridor[J]. Resource Development & Market, 2020, 36(11): 1207-1211, 1272.]

[21] 陈克恭, 师安隆. 戈壁农业是生态文明背景下的农业革命探索[J]. 农业经济问题, 2019(5): 130-137. [Chen Kegong, Shi Anlong. Desert farming: Exploration of agricultural revolution in the ecological civilization setting[J]. Issues in Agricultural Economy, 2019(5): 130-137.]

[22] 黄晶, 薛东前, 董朝阳, 等. 干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制——基于三生空间主导功能判别视角[J]. 地理科学进展, 2022, 41(11): 2044-2060. [Huang Jing, Xue Dongqian, Dong Chaoyang, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces[J]. Progress in Geography, 2022, 41(11): 2044-2060.]

[23] 李绵德, 周冬梅, 朱小燕, 等. 河西走廊2000—2020年农业碳排放时空特征及其影响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 940-952, 989. [Li Miande, Zhou Dongmei, Zhu Xiaoyan, et al. Spatial-temporal characteristics of agricultural carbon emissions and influencing factors in the Hexi Corridor from 2000 to 2020[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(4): 940-952, 989.]

[24] 韦惠兰, 罗万云. 沙化封禁区农田生态系统服务价值变化及其影响因素——以河西走廊8县市为例[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 189-196. [Wei Huilan, Luo Wanyun. Service value and influence factors analysis of farmland meta-ecosystem in land desertification control areas: A case study of eight county in Hexi Corridor[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 189-196.]

[25] 李传华, 周敏, 王玉涛, 等. 西北干旱区植被净初级生产力年际变化及其时空和气候因子的贡献——以河西走廊为例[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3265-3275. [Li Chuanhua, Zhou Min, Wang Yutao, et al. Inter-annual variation of vegetation net primary productivity and the contribution of spatial-temporal and climate factors in arid northwest China: A case study of Hexi Corridor[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(10): 3265-3275.]

[26] 李传华, 曹红娟, 范也平, 等. 基于校正的CASA模型NPP遥感估算及分析——以河西走廊为例[J]. 生态学报, 2019, 39(5): 1616-1626. [Li Chuanhua, Cao Hongjuan, Fan Yeping, et al. Remote sensing estimation and analysis of net primary productivity (NPP) based on corrected CASA model: A case study of Hexi Corridor[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5): 1616-1626.]

[27] 邵梅, 马立鹏, 王新源, 等. 2004—2014年河西走廊荒漠化草地生态系统服务价值估算[J]. 中国沙漠, 2022, 42(3): 63-73. [Shao Mei, Ma Lipeng, Wang Xinyuan, et al. The valuation of ecosystem service value of desertification grassland from 2004 to 2014 in Hexi Corridor, China[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(3): 63-73.]

[28] 李传华, 朱同斌, 周敏, 等. 河西走廊植被净初级生产力时空变化及其影响因子研究[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1931-1943. [Li Chuanhua, Zhu Tongbin, Zhou Min, et al. Temporal and spatial change of net primary productivity of vegetation and its determinants in Hexi Corridor[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(5): 1931-1943.]

[29] 南生祥, 魏伟, 刘春芳, 等. 土地利用变化的生态环境效应及其时空演变特征——以河西走廊为例[J]. 应用生态学报, 2022, 33(11): 3055-3064. [Nan Shengxiang, Wei Wei, Liu Chunfang, et al. Eco-environmental effects and spatiotemporal evolution characteristics of land use change: A case study of Hexi Corridor, northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(11): 3055-3064.]

[30] 韩兰英, 万信, 方峰, 等. 甘肃河西地区沙漠化遥感监测评估[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 131-138. [Han Lanying, Wan Xin, Fang Feng, et al. Desertification assessments of Hexi regions in Gansu Province by remote sensing[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(1): 131-138.]

[31] 马仲武, 王新源, 王小军, 等. 甘肃省酒泉市土地沙漠化现状及动态分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 141-147. [Ma Zhongwu, Wang Xinyuan, Wang Xiaojun, et al. Present situation and dynamic analysis of land desertification in Jiuquan City, Gansu Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(3): 141-147.]

[32] 程小云, 张琴, 兰芳芳, 等. 河西走廊草地荒漠化动态及驱动因素[J]. 中国沙漠, 2022, 42(6): 134-141. [Cheng Xiaoyun, Zhang Qin, Lan Fangfang, et al. Dynamic characteristics and driving factors of grassland desertification in Hexi Corridor[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(6): 134-141.]

[33] 董雪, 李永华, 辛智鸣, 等. 河西走廊西段戈壁灌木群落多样性及其分布格局研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1514-1522. [Dong Xue, Li Yonghua, Xin Zhiming, et al. Gobi shrub species diversity and its distribution pattern in west Hexi Corridor[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(6): 1514-1522.]

[34] 程静, 王鹏, 陈红翔, 等. 半干旱区生态风险时空演变及其影响

因素的地理探测——以宁夏盐池县为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1637-1648. [Cheng Jing, Wang Peng, Chen Hongxiang, et al. Geographical exploration of the spatial and temporal evolution of ecological risk and its influencing factors in semi-arid regions: A case of Yanchi County in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(5): 1637-1648.]

[35] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]

Evolution characteristics and its driving mechanism of territorial spatial pattern in the Hexi Corridor from 2000 to 2020

BO Liming[1], YIN Li[2], WEI Wei[1,2,3], ZHAO Lang[2], XIA Junnan[4]

(1. China Institute of Development Strategy and Planning, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China; 2. School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China; 3. Center of Hubei Human Habitat Engineering and Technology, Wuhan 430072, Hubei, China; 4. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: The Hexi Corridor, as China's most densely populated arid region, necessitates a thorough understanding of the evolution of its spatial patterns and the underlying driving mechanisms to reconcile regional development with environmental protection within a three-zone framework. This research employs a suite of quantitative methods, including the spatial transition matrix, landscape pattern index, and optimal parameter geographical detector, to examine the spatiotemporal characteristics and determinants of territorial spatial pattern changes in the Hexi Corridor from 2000 to 2020, focusing on "quantitative change" and "form change". The findings reveal as follows: (1) The Hexi Corridor's urban, agricultural, and various ecological spaces have expanded, accompanied by a notable decline of 2758.87 km^2 in green ecological areas. Despite heightened developmental activities across the three-zone space, ecological conservation efforts have yet to yield significant results. (2) The predominant form of territorial space transition is the internal "desert-green land" dynamics within ecological zones, marked by considerable variability in the extent of cross-transformation across different functionally oriented zones. This cross-transformation of territorial spaces is characterized by increasing fragmentation, dispersion, and complexity in landscape patterns. (3) The territorial spatial pattern evolution in the Hexi Corridor is influenced by multifaceted factors. "Quantitative change" is primarily driven by national policy directives, natural geographic conditions, transportation-related constraints, and socio-economic drivers, whereas "form change" is shaped by natural geography and further modified by transportation and socio-economic factors.

Key words: major function oriented zone; three-zone space; land desertification; cultivated land expansion; Hexi Corridor